

УДК 621.316.542.014

ПОЛИЩУК В. Н., к.т.н., **ХОМУТОВА Е.Л., В.Ф.РОЙ**, д-р физ.-матем. наук,
Харьковская национальная академия городского хозяйства

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И МЕСТ ВКЛЮЧЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОЙ
КОММУТАЦИОННО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ В СИСТЕМАХ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Аналізується можливість використання безконтактно-регулюючої апаратури в мережах електрозабезпечення промислових підприємств.

Пропонується методика розрахунку струмообмежуючих резисторів для схем з шунтовим ввімкненням

It has been considered non-contact –controlling apparatus using in power-supply systems of industrial organizations. In has been proposed methods of calculation of current-limiting resistors for schemas under shunt switching on.

Применение бесконтактной коммутационно-регулирующей аппаратуры (БКРА) позволяет решать проблемы быстродействующего токоограничения, в частности, создании безреакторных сетей напряжением 6-10 кВ с мощностью короткого замыкания (КЗ) до 1000-1500 МВ·А, ограничения ударных аварийных токов, уменьшения термических и динамических воздействий на элементы систем электроснабжения, создания кольцевых сетей напряжением 0,4; 6; 10 кВ и рационального использования трансформаторной мощности; повышения качества электроэнергии в распределительных сетях; сокращения капитальных затрат на сооружение систем электроснабжения. Основные области использования БКРА 6 – 10 кВ в системах электроснабжения промышленных объектов приведены на рис. 1.

Из рисунка видно, что в системах электроснабжения БКРА имеет три основных области применения: управление аварийными и послеаварийными режимами; управление электрическими приемниками предприятий и управление режимами и качеством электроэнергии.

Одной из важных задач управления аварийными режимами является ограничение аварийных токов в промышленных электрических сетях. Эта задача решается на основе БКРА серийного или шунтового включения.

Метод шунтирования цепи КЗ давно известен в электроэнергетике. Этот метод был существенно усовершенствован на базе тиристорной техники, позволившей создать общий токоограничивающий контур для сети произвольной конфигурации[2]. Алгоритм управления БКРА обеспечивает токоограничение любого из присоединений при произвольном числе ступеней селективности в системе электроснабжения любой конфигурации. Работа БКРА синхронизируется путем фиксации переднего фронта восстанавливающегося напряжения. При этом БКРА может быть включена не более чем на один период переменного тока, что существенно облегчает конструкцию токоограничителя.



Рис. 1. Основные области применения БКРА

БКРА, выполняющая функции токоограничивающих устройств, может быть включена в произвольной точке системы электроснабжения. На рис. 2 показаны возможные варианты включения БКРА, выполняющей функцию токоограничивающих устройств (ТОУ) шунтового типа. В сетях, работающих с изолированной нейтралью, БКРА выполняется в двухфазном исполнении (рис.2а): тиристорные ключи TK_1 , TK_2 обеспечивают токоограничение при любом виде повреждения для наиболее распространенной схемы- двухобмоточный трансформатор – магистральный токопровод. БКРА включается в этом случае на участке между силовым трансформатором и распределительной сетью [2].

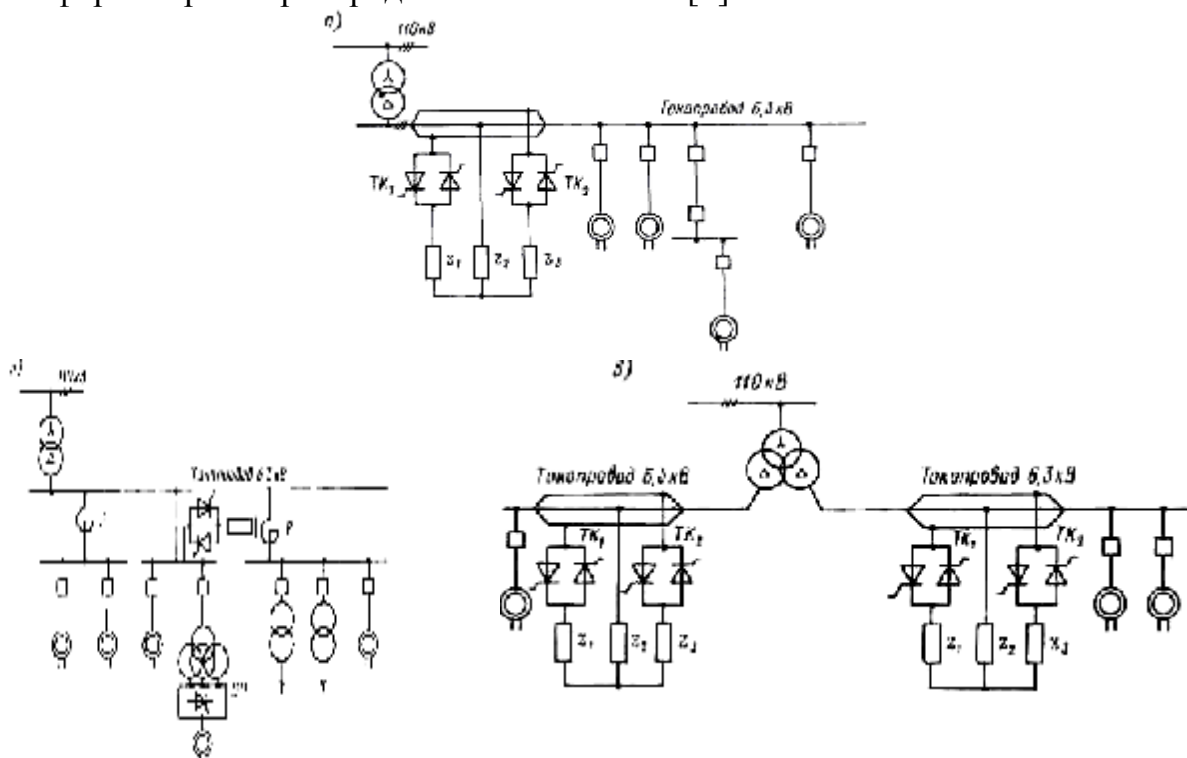


Рис. 2. Схемы включения БКРА на промышленных объектах

На рис. 2б приведена схема включения БКРА на участке токопровода, к которому подключена ударная нагрузка. Вентильный привод в этом случае подключается к токопроводу без реактора Р.

На рис. 2в показана схема включения БКРА на трансформаторе с расщепленными обмотками. В зависимости от параметров сети и нагрузки в схеме рис.2в может реализовываться раздельная или совместная работа БКРА.

При действии БКРА в системе электроснабжения цепь КЗ шунтируется, и сеть делится на ряд контуров. При этом в системе электроснабжения происходит новое токораспределение, поскольку уровень токов КЗ должен быть снижен до величины коммутационной способности выключателей, используемых в сети, то БКРА должна быть включена последовательно с токоограничивающим резистором $z_{т.к}$ (рис.2а), сопротивление и место его включения определяет требуемую степень токоограничения.

Для различных конфигураций промышленных сетей и мест включения БКРА можно составить ряд типовых расчетных схем замещения.

На рис. 3 приведены трехконтурные расчетные схемы для определения параметров $z_{т.к}$ и токораспределения в сети при работе БКРА, а также направленные графы этих схем. Схемы содержат два источника E_1 и E_2 и три контура. К таким схемам сводится, в частности, схема электроснабжения, содержащая двухобмоточный трансформатор, токопровод и подстанции, подключенные через кабельные вставки (E_1 и E_2 эквивалентны ЭДС сети и подпитки неповрежденных электродвигателей). Каждая из схем однозначно характеризуется структурным числом A в соответствии с ее направленным графом. Для всех трех схем структурное число A имеет следующий вид [3]:

$$A = [z_1 z_2 \parallel z_2 z_3 z_4 \parallel z_4 z_5] = \begin{vmatrix} z_1 z_1 z_1 z_1 z_1 z_2 z_3 z_3 \\ z_2 z_2 z_3 z_3 z_4 z_3 z_3 z_4 \\ z_4 z_5 z_4 z_5 z_5 z_4 z_5 z_5 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Определитель структурного числа

$$\det A = z_1 z_2 z_4 + z_1 z_2 z_5 + z_1 z_3 z_4 + z_1 z_3 z_5 + z_1 z_4 z_5 + z_2 z_3 z_4 + z_2 z_3 z_5 + z_2 z_4 z_5.$$

Алгебраические производные числа A

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial z_1} &= \begin{vmatrix} z_2 z_2 z_3 z_3 z_4 \\ z_4 z_5 z_4 z_5 z_5 \end{vmatrix}; & \frac{\partial A}{\partial z_2} &= \begin{vmatrix} z_1 z_1 z_3 z_3 z_4 \\ z_4 z_5 z_4 z_5 z_5 \end{vmatrix}; \\ \frac{\partial A}{\partial z_4} &= \begin{vmatrix} z_1 z_1 z_1 z_2 z_2 \\ z_2 z_3 z_5 z_3 z_5 \end{vmatrix}; & \frac{\partial A}{\partial z_5} &= \begin{vmatrix} z_1 z_1 z_1 z_2 z_2 \\ z_2 z_3 z_4 z_3 z_4 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Для схемы замещения рис.3а имеем: $I_2 = k_{12} E_1 + k_{52} E_2$ - ток через тиристоры БКРА; $I_4 = k_{14} E_1 + k_{54} E_2$ - ток в цепи выключателя поврежденного присоединения.

Здесь

$$\begin{aligned} k_{12} \frac{I_2}{E_1} \Big|_{E_2=0} &= \frac{\underset{z}{\text{Sim}} \left(\frac{\partial A}{\partial z_1}; \frac{\partial A}{\partial z_2} \right)}{\det A} = \frac{z_3 z_4 + z_3 z_5 + z_4 z_5}{\det A}; \\ k_{52} \frac{I_2}{E_2} \Big|_{E_1=0} &= \frac{\underset{z}{\text{Sim}} \left(\frac{\partial A}{\partial z_5}; \frac{\partial A}{\partial z_2} \right)}{\det A} = \frac{z_1 z_4}{\det A}; \end{aligned}$$

$$k_{14} \frac{I_4}{E_1} \Big|_{E_2=0} = \frac{\text{Sim}_z \left(\frac{\partial A}{\partial z_1}; \frac{\partial A}{\partial z_4} \right)}{\det A} = \frac{z_2 z_5}{\det A};$$

$$k_{54} \frac{I_4}{E_2} \Big|_{E_1=0} = \frac{\text{Sim}_z \left(\frac{\partial A}{\partial z_5}; \frac{\partial A}{\partial z_4} \right)}{\det A} = \frac{z_1 z_2 + z_1 z_3 + z_2 z_3}{\det A},$$

Рис. 3. Трехконтурные схемы замещения для определения параметров токоограничивающего контура

Тогда:

$$I_2 = \frac{(z_3 z_4 + z_3 z_5 + z_4 z_5) E_1 + z_1 z_4 E_2}{\det A}; \quad (2)$$

$$I_4 = \frac{z_2 z_5 E_1 + (z_1 z_2 + z_1 z_3 + z_2 z_3) E_2}{\det A}; \quad (3)$$

Из (2) получаем значение токоограничивающего сопротивления

$$z_2 = \frac{z_1 z_3 E_2 - I_4 (z_1 z_3 z_4 + z_1 z_3 z_5 + z_1 z_4 z_5)}{I_4 (z_1 z_4 + z_1 z_5 + z_3 z_4 + z_3 z_5 + z_4 z_5) - z_5 - (z_1 z_3) E_2}. \quad (4)$$

Здесь параметры схемы замещения (рис.3а): z_1 — сопротивление понижающего трансформатора и участка цепи до точки включения БКРА; z_3 — сопротивление цепи от места включения БКРА до точки повреждения; z_4 — сопротивление поврежденного фидера; z_5 — эквивалентное сопротивление неповрежденных электродвигателей.

Для схемы замещения (рис. 3б) аналогично получаем величину тока через тиристоры I_2 , тока в цепи выключателя поврежденного присоединения I_5 и токоограничивающего сопротивления z_2 :

$$I_2 = \frac{(z_3 z_5 + z_4 z_5 + z_3 z_4) E_1 + z_1 z_5 E_2}{\det A}; \quad (5)$$

$$I_5 = \frac{z_2 z_4 E_1 + (z_1 z_2 + z_1 z_3 + z_2 z_3) E_2}{\det A}; \quad (6)$$

$$z_2 = \frac{z_1 z_3 E_2 - (z_1 z_3 z_4 + z_1 z_3 z_5 + z_1 z_4 z_5) I_5}{I_5 (z_1 z_4 + z_1 z_5 + z_3 z_4 + z_3 z_5) - (z_4 E_1 + z_1 E_2 + z_3 E_2)}. \quad (7)$$

Для схемы замещения рис. 3в:

$$I_4 = \frac{z_2 z_5 E_1 + z_1 z_5 E_2}{\det A}; \quad (8)$$

$$I_5 = \frac{z_2 z_4 E_1 + z_1 z_4 E_2}{\det A}; \quad (9)$$

$$z_4 = \frac{I_5 (z_1 z_2 z_5 + z_1 z_3 z_5 + z_2 z_3 z_5)}{z_1 E_2 + z_2 E_1 - I_5 (z_1 z_2 + z_1 z_3 + z_1 z_5 + z_2 z_3 + z_2 z_5)}. \quad (10)$$

Схема замещения рис. 3 и соотношения (2) –(10) позволяют, таким образом, определять параметры систем электроснабжения с ТООУ для большинства конфигураций сетей промышленных предприятий.

В некоторых случаях при расчете сопротивления токоограничивающего резистора можно пренебречь сопротивлением поврежденного фидера, приравняв его нулю, при этом расчетная схема существенно упрощается и параметры токоограничивающего контура и место его включения определяются значительно проще.

Следует учесть, что для обеспечения минимального тока через тиристоры при заданной степени токоограничения следует $z_{Т.К}$ выбирать из условия [4]:

$$\frac{\operatorname{Im} z_{mk}}{\operatorname{Re} z_{mk}} = \frac{\operatorname{Im} z_3}{\operatorname{Re} z_3}. \quad (11)$$

На практике для токоограничивающих резисторов трудно точно выдержать соотношение (11). Поэтому следует принимать в сетях 6-10 кВ, выполненных в виде токопроводов, $z_{Т.К}$ чисто реактивным, а в кабельных сетях — активным.

Таким образом, рассмотренная методика расчета параметров и мест включения БКРА позволяет организовать эффективную защиту сетей 6-10 кВ от сверхнормативных перегрузок и обеспечить бесперебойное электроснабжение потребителей.

Список литературы: 1. Беллер С., Вознячки Г. Анализ и синтез электрических цепей методом структурных чисел. М.: Мир, 1972, 376 с. 2. Бороденко В. А., Поляков В. Е. О выборе принципа действия пусковых органов АВР // Промышленная энергетика 1981, №5 С. 18-23. 3. Веников В. А. Теория подобия и моделирования. – 3-е изд.- М.: Высшая школа, 1994.- 450 с. 4. Колечицкий Е.С. Расчет электрических цепей устройств высокого напряжения.-М.: Энергоатомиздат,1993, 268 с.

Поступила в редколлегию 21.10.2008

С.Н. ЯЛОВЕНКО

ЧЁРНЫЙ ПРЕДЕЛ. ЧАСТЬ 1

Теория относительности. Новый взгляд

Релятивистская механика базируется на двух постулатах, которые носят названия принцип относительности Эйнштейна и принцип постоянства скорости света. В основу теории относительности легло положение, согласно которому, никакая энергия и никакой сигнал не может распространяться со скоростью превышающей скорость света в вакууме, а скорость света в вакууме постоянна, и не зависит от направления распространения.

В релятивистской механике скорость света ограничивается C = константа вместо бесконечности и абсолютизируется но одновременно вводятся другие бесконечные(или бесконечно малые) величины. Само понятие бесконечности физически может реализоваться и должно пониматься только как диалектическая периодичность - это ставит под сомнение